3К

УДК 004.8

Ю.В. Крак, В.А. Кузнецов, А.С. Тернов
Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Украина
Украина, 03680, г. Киев, пр-т. ак. Глушкова, 40

Моделирование эмоциональных проявлений с помощью параметрических моделей головы человека

Iu.V. Krak, V.A. Kuznetsov, A.S. Ternov
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics, Ukraine
Ukraine, 03680, Kyiv, Glushkov ave., 40

Facial Expressions Modeling Based on a Parametric Models of a Human Head

Ю.В. Крак, В.А. Кузнєцов, А.С. Тернов
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Україна
Україна, 03680, г. Київ, пр-т. ак. Глушкова, 40

Моделювання емоційних проявів за допомогою параметричних моделей голови людини

В работе рассмотрен метод получения числовых параметров параметрической модели головы человека для задачи моделирования эмоциональных проявлений в жестовом языке. Описаны этапы получения модели эмоциональных проявлений, включая информационную и параметрическую модели. Предложен набор признаков, который может использоваться в задаче идентификации параметров на основании признаков параметрической модели.
Ключевые слова: параметрическая модель, мимика, жестовый язык.

Described in the article is the metod of retrieving the numerical values in parametrical head model in purpose to model a facial emotion features in sign language. A several stages of retrieving the model of emotion features including retrieving of informational and parametrical model described in the article. It also proposed a set of features that can be applied in experiments in order to identify parameters on the basis of this set.
Key words: parametrical model, facial expressions, sign language.

У роботі розглянуто метод отримання числових параметрів параметричної моделі голови людини для задачі моделювання емоційних проявів у жестовій мові. Описані етапи отримання моделі емоційних проявів, що включають інформаційну та параметричну моделі. Запропоновано набір ознак, який може бути застосований в задачі ідентифікації параметрів на підставі ознак параметричної моделі.
Ключові слова: параметрична модель, міміка, жестова мова.

Введение

Жестовый язык – природная форма общения неслышащих людей. Он включает собственно жесты, артикуляцию и немануальные маркеры, такие как мимика, движения туловища и головы [1], [2]. В современном украинском жестовом языке достаточно хорошо изучена область мануальных компонент [3], [4], но, в то же время почти не

изучены немануальные компоненты, хотя подобные исследования проводились в американском [5], французском [6] и немецком жестовом языке [7].

В работе [8] было показано, что мимика, представленная в виде текстовой информации, может быть описана в системе описания мимических компонент. Более полно изучен этот вопрос был в исследовании, посвященном созданию аудиовизуальной базы данных [9]. Были проанализированы словари жестовой речи, в результате чего выделено 70 мимических выражений и 27 выражений, описывающих специфичные для жестовых языков грамматические конструкции. Наличие такого объема данных вызвало необходимость представления данных в другой форме, которая позволила бы выполнять анализ и обработку данных.

Постановка задачи. Необходимо создать параметрическую модель головы, позволявшую моделировать эмоциональные проявления в жестовой речи и апробировать ее на тестовом наборе видеозаписей с целью получения временных характеристик изменения каждого компонента лица, представленного в виде параметрической модели.

Для того чтобы получить такую модель, в первую очередь следует решить следующие задачи:

– каким образом следует выделять признаки на лице;

– какое минимальное количество признаков необходимо для получения модели, достоверно описывающей мимику и артикуляцию;

– какое количество наборов элементов мимики и примеров каждого элемента мимики в отдельности требуется для построения и апробации модели мимики лица человека.

Создание параметрической модели

Общие сведения о параметрических моделях. Задача получения параметрической модели головы разбивается на три подзадачи: получения набора параметров, получение статической (3d-модели) и динамической модели (модели анимации). Как правило, для описания формы лица используется статическая модель в виде набора точек (сетка, «mesh» или просто 3d-модель) [10]. Динамическая модель описывает правила изменения (моделирования) изменений мимики на статической модели головы на основе входных параметров. После получения статической и динамической модели производится получение числовых параметров, которые характеризуют проявление на лице различных артикуляционных и мимических единиц, что выполняется с применением методов компьютерного зрения.

Получение набора ключевых точек. На основании описаний в системе FACS [11], полученных в исследовании [9], был получен набор параметров, характеризующих изменения в различных областях лица.

Несмотря на то, что типов динамических моделей не так много, существует определенное *разнообразие ключевых точек*, в которых располагаются контроллеры анимации и узловые точки костной или мышечной анимации [12]. Основное назначение ключевых точек – выполнение роли промежуточного слоя между элементами динамической модели и входными данными (т.е. параметрами параметрической модели), т.к. не существует однозначного соответствия между координатой точки на лице в кадре исследуемого видео и координатой точки в координатах динамической модели. С помощью математических преобразований (определяемых свойствами динамической модели) координаты ключевых точек, полученные из входных

числовых параметров, преобразуются в координаты узлов динамической модели (костей, морфов, мышц).

Для того чтобы получить набор параметров, был проведен эксперимент, в котором была изучена внутренняя мимическая структура лица. Это стало возможным благодаря наличию соответствия между параметрами в системе FACS и соответствующими мышцами лица. На основании этого набора параметров получена табл. 1, описывающая соответствие между набором параметров параметрической модели и мышцами лица.

Таблица 1 – Соответствие между мышцами и полученным набором параметров

FACS	Область	Мышца (лат)	Часть мышцы	Мышца (рус)
1	Брови	Frontalis	Pars medialis	Лобная мышца
2	Брови	Frontalis	Pars lateralis	Лобная мышца
4	Брови	Corrugator	supercii	Мышца, сморщивающая бровь
5	Брови	Levator palpebrae	superioris	Мышца, поднимающая верхнее веко
6	Веки	Orbicularis oculi	pars orbitalis	Круговая мышца глаза
7	Веки	Orbicularis oculi	pars palpebralis	Круговая мышца глаза
9	Губы	Levator labii superioris	alaqu ae nasi	Подниматель верхней губы носовой части
10	Губы	Levator labii superioris		Подниматель верхней губы
11	Губы	Zygomaticus minor		Малая скуловая мышца
12	Губы	Zygomaticus major		Большая скуловая мышца
13	Губы	Caninus		Мышца подъема уголка рта
14	Губы	Buccinator		Щечная мышца
15	Губы	Triangularis		Мышца опускания уголка рта
16	Губы	Depressor labii	inferioris	Мышца, опускающая нижнюю губу
17	Губы	Mentalis		Подбородочная мышца
18	Губы	Incicivii labii	superioris, inferioris	Резцовые мышцы нижней и верхней губы
20	Губы	Risorus, Platysma		Мышца смеха, Мышца шеи
22	Губы	Orbicularis oris		Круговая мышца рта
23	Губы	Orbicularis oris		Круговая мышца рта
24	Губы	Orbicularis oris		Круговая мышца рта
25	Губы	Orbicularis oris		Круговая мышца рта
26	Челюсть	Masseter, Temporalis		Жевательная, височная мышца
31	Челюсть	Pterygoid, Digastric		Латеральная крыловидная мышца
34	Щеки			
38	Нос			
41	Веки	Levator palpebrae	superioris	Мышца, поднимающая верхнее веко
42	Веки	Orbicularis oculi	pars palpebralis	Круговая мышца глаза
43	Веки	Orbicularis oculi	pars palpebralis	Круговая мышца глаза
44	Веки	Orbicularis oculi	pars palpebralis	Круговая мышца глаза

Примечание: мимические проявления, отвечающие за поворот головы и направления взгляда, не анализировались.

На основании табл. 1 был выбран набор внутренних мимических проявлений, которые использовались в эксперименте по получению параметров. Для этого были проанализированы анатомические разрезы из анатомических атласов [12], [13].

Эти разрезы позволили установить следующее:

– на каких характерных точках (соединения костей, изменения рельефа и др.) находятся соединения мышц с костями;

– по каким характерным точкам лица (внешним и внутренним) проходят мышцы.

На основе полученных данных на лицо реального человека были нанесены водорастворимыми красками следующие объекты внутренней структуры лица:

– области расположения мышц и их вкраплений в кости головы;

– контуры костей головы.

Это позволило бы установить, как соотносятся контуры костей головы, мышц и внешних контуров, а также области на внешней поверхности лица, в которых будет наблюдаться максимальная амплитуда сокращений мышц (прим. концы мимических мышц).

На основе фотографии лица с этими отметками была получена упрощенная модель мышечной структуры лица (рис. 1) – контуры мышц лица были аппроксимированы полиномами, проходящими через характерные точки лица (внешние и внутренние).

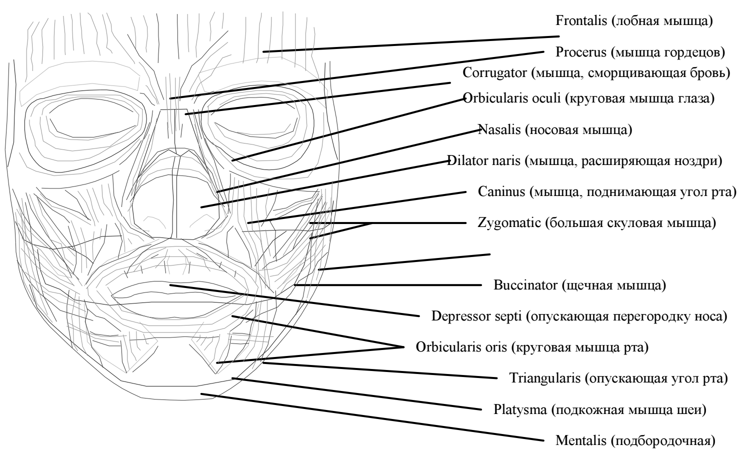
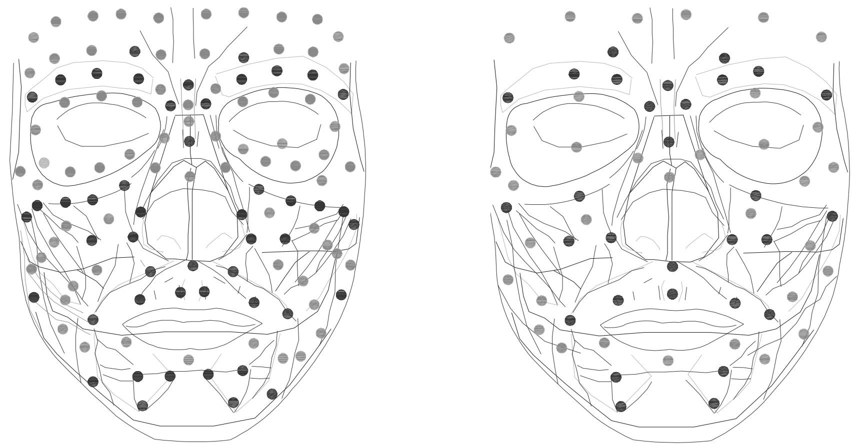


Рисунок 1 – Упрощенная схематическая модель мышечной структуры головы на лице реального человека

На основании этой схемы был предложен *набор ключевых точек*, которые должны быть включены в *параметрическую модель*. Ключевые точки расставлялись *внутри областей*, соответствующих мышцам на лице. Они выбирались таким образом, чтобы их *плотность была величиной постоянной* и не изменялась сильно по поверхности лица. Для мышц, закрытых другими мышцами или костями (например, как мышца Temporalis) ключевые точки *не выставлялись*, а мышцы, расположенные под большими углами к анфасу лица, отображались *меньшим числом точек* (т.к. в противном случае поверхностная плотность бы возрастала). Кроме того, выделялись точки, соответствующие креплениям мышц к кости или в мягких тканях, и внутренние точки.

При первоначальной поверхностной плотности точек на областях мышц $\delta = 1$ точка/см^2 общее число точек составило 141 (рис. 2а.). *Уменьшение линейной плотности* точек вдвое по одной из осей мышц (радиальной или латеральной) *приводит к уменьшению количества точек* на 46. Таким образом, при плотности точек $\delta_r = 0{,}5$ точка/см и $\delta_l = 1$ точка/см или $\delta_r = 1$ точка/см, $\delta_l = 0{,}5$ точка/см число точек составляет 95, а при $\delta_r = \delta_l = 0{,}5$

точка/см число точек составляет 49 (рис. 2б). Такое уменьшение плотности точек вызвано необходимостью обрабатывать меньшее количество точек на этапе получения числовых параметров.



а) б)

Рисунок 2 – Расположение точек при различной линейной плотности:
а) при плотности 1 точка/кв.см; б) и 0,5 точек/кв.см

Получение статической модели. После получения набора параметров параметрической модели был проведен эксперимент по созданию статической модели.

Существует несколько методов создания статической модели [14]:

– создание статической модели вручную, с помощью средств компьютерной графики;

– создание модели из другой готовой модели головы, с адаптацией к голове реального человека;

– использование методов фотограмметрии (реконструкция трехмерного изображения по фотографиям с разных ракурсов) для автоматического получения черновой модели с последующей корректировкой.

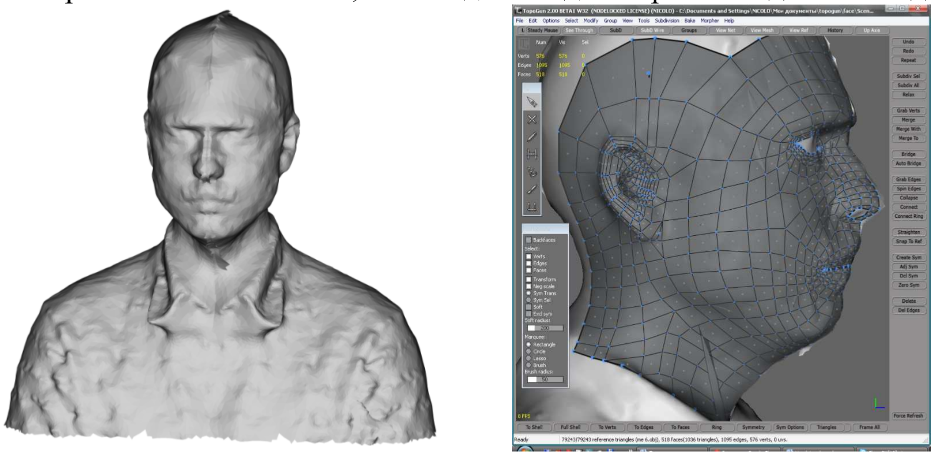
Первые два варианта были отброшены по нескольким причинам: во-первых, они сильно трудозатратны по времени и ресурсам, во-вторых, присутствует человеческий фактор, который может сказаться при создании рельефа модели; в третьих, крайне низкий уровень автоматизации обработки данных, что противоречит поставленным задачам. Поэтому для создания статической параметрической модели было предложено использовать одну из реализаций метода фотограмметрии в программном пакете Autodesk 123DCatch [15].

Для получения статической модели было сделано 30 снимков головы реального человека, выполненные с разных ракурсов, которые были загружены в программный пакет. Полученная в результате высокополигональная трехмерная модель (рис. 3а) преобразовывалась в низкополигональную по определенным правилам (рис. 3б).

Необходимость данного шага была вызвана тем, что алгоритмы 3D реконструкции в данной программе не отличали симметричные объекты от асимметричных и алгоритм был плохо устойчив к шумам (блики на лице от внешних источников света), из-за чего правая и левая часть лица имели разные геометрические параметры одних и тех же областей, но с разных сторон лица.

Перед получением низкополигональной модели проводился вспомогательный этап. Для этого та сторона модели лица, имеющая меньше всего искажений (правая), отражалась зеркально по линии, проведенной по центру носа, губ и шеи.

Кроме того, результаты 3D реконструкции очищались от других поверхностей, которые не принадлежали голове (стены помещений, туловище), что позволило значительно сократить объем памяти, необходимый для обработки данной модели.



а) б)

Рисунок 3 – Сравнение топологии модели на разных этапах создания

Преобразование высокополигональной модели в низкополигональную (или иначе аппроксимация поверхности больших порядков поверхностью более низких порядков) позволило снизить случайные искажения поверхности, а также исправить неравномерную плотность сетки модели, с приведением сетки из треугольников к сетке из четырехугольников.

Такие преобразования обусловлены необходимостью оптимизации для работы модели на современных компьютерах, а также совместимостью с динамическими моделями головы, для которых требовалась особая структура сетки модели (топология модели).

Такая структура заключается в том, чтобы создать сетку, ориентированную относительно контуров лица – линии губ, век и бровей, ушей, овала лица [16]. Как правило, ребра выстраиваются по структуре в виде колец из четырехугольников. Такая структура позволяет ориентировать ребра четырехугольников вдоль направления деформации (важно отметить, что имеются в виду не направления действия мышц, а направления, в которых поверхность испытывает наибольшие сжатия или растяжения), с понижением степени деформации от центров к краям, что позволяет повторять свойства некоторых мышц (мышечной структуры лица, круговых мышц рта и глаз) и сделать деформации некоторых областей лица менее резкими.

Преобразование выполнялось с помощью программного пакета TopoGun [17]. Топология была сделана таким образом, чтобы овал лица в фронтальной проекции образовывал 3 кольца четырехугольников, а также присутствовали аналогичные кольца вокруг шеи, контуров глаз и губ (смотри рис. 3б).

Получение динамической модели. В динамических моделях часто приходится абстрагироваться от некоторых особенностей лица человека (неравномерность растяжения лица, появление складок при сжатии поверхности лица, нежесткое закрепление поверхности лица к мышцам, различное поведение мышц лица при сокращении и расслаблении и др.) [10].

Наиболее простым является метод перехода модели из одного состояния (с определенными координатами точек) в измененное состояние (с измененными координатами точек). В программах, связанных с трехмерной графикой он также известен как «изменяемая поверхность» (BlendShape). Данный метод может применяться, когда ме-

тод 3d-реконструкции позволяет быстрее получить несколько разных моделей состояния лица одного человека, чем иные методы. Недостатком является то, что значение измененных координат хранится для всех состояний, что при высокополигональной модели может требовать большого объема памяти.

Наиболее часто используемым методом является метод на основе контроллеров анимации, управляющих определенными областями лица (morph targets). Контроллер подобен направлению по производной поля точек модели. Характер изменения модели определяется специальной картой (скиннинг модели), которая вычисляет насколько влияет изменение направления и положения контроллера анимации на данную точку. Таким образом, меняя положение одного контроллера, можно влиять на координаты целой группы точек.

Несмотря на простоту, такие параметрические модели недостаточно точно отражают свойства мышечной структуры лица, поэтому в тех случаях, когда требуется более высокая точность и имитация сгибания поверхности и других особенностей лица применяются методы на основе скелетной костной Анимации [12].

Методы скелетной костной анимации головы подобны тем, что применяются в анимации движений тела человека, с той лишь разницей, что «кость» в данном случае является абстракцией, не имеющей ничего общего с костями скелета человека: кости скелета человека нерастяжимы, изменение их положения относительно друг друга приводит к растяжению или сжатию поверхности тела человека (в реальности наоборот). В то же время, растяжение и сжатие мышц лица приводит к изменению контуров лица, поэтому в костную модель вносятся корректировки. В первую очередь, это обязательное наличие свойства растяжимости костей анимации, начала и концы которых могут совпадать с некоторыми ключевыми точками на лице. Немаловажным дополнением является взаимосвязь этих костей между собой (влияние сжатия одной мышцы может приводить к растяжению другой), а также введение контроллеров анимации, которые позволяют влиять на положение кости. Кости в такой модели могут располагаться перпендикулярно направлению изменения мышц, а при использовании модели мышечной структуры лица, образовывать сетку радиально и перпендикулярно осям мышц.

При создании динамической модели было предложено использовать методы костной анимации как такие, что наилучшим образом решают задачу моделирования мимических выражений.

Получение набора числовых параметров

Методы компьютерного зрения. Методы компьютерного зрения, используемые для получения ключевых параметров, состоят из трех больших групп методов [18]:

– методы идентификации (feature detection);
– методы отслеживания точки (matchmoving);
– методы *реконструкции* положения точки в пространстве.

Первая группа методов заключается в автоматическом *поиске* особых точек на изображении, по положению которых устанавливается координата *соответствующей точки* динамической модели [19]. Отличие идентификации от отслеживания заключается в том, что первая служит для *нахождения наиболее выделяющихся точек* и фрагментов на изображении. Хотя лицо содержит достаточно много выделяющихся элементов, (нос, морщины, глаза, губы), более предпочтительным является использование *специальных маркеров*, расположенных на лице согласно ключевым

точкам динамической модели. Данные маркеры имеют *расцветку, отличную от цвета лица*, что позволяет применять относительно простые методы сепарации областей маркеров от области лица, такие как *хромокей*, также это сильно упрощает алгоритмы отслеживания точки.

Вторая группа методов использует алгоритмы, которые по заданным примерам на одном изображении, полученных *с помощью алгоритмов идентификации*, выполняется *поиск этих же особых точек* на остальных кадрах видеопоследовательности. Данные методы могут как анализировать все изображение (получая *векторное поле перемещений* всех точек на изображении или получая линии *градиента цвета и яркости* на разных изображениях), так и небольшую *окрестность точки*, полученной с помощью методов отслеживания или идентификации на предыдущих кадрах последовательности (например, методы блочного сравнения или детекторы углов [20]). Применение таких методов для анализа динамического состояния лица в случае отсутствия маркеров вызывает *ряд сложностей*. В первую очередь, алгоритмы поиска ключевых точек по фрагментам изображения дают худшие результаты, если требуется найти не пятно яркости (как в случае с использованием маркеров), а *фрагмент изображения* по заданному шаблону, который испытывает неоднородные *искажения масштаба и поворота* (такие как вырождение дуги в отрезок и острого угла в дугу). Во вторую очередь, это связано с *малой частотой кадров* большинства современных видеокамер и наличия сильного сжатия изображения, в связи с чем естественные характерные точки лица становятся *сильно размытыми* (что возникает даже при использовании маркеров), а низкая частота кадров *не позволяет точно установить траекторию* движения характерной точки (вырождение двух положений точек в отрезок или попадание точки вне области поиска). С появлением современной аппаратуры, такой как скоростные видеокамеры высокого разрешения, становится возможным применение и безмаркерных методов, но эти решения требуют больших финансовых ресурсов, поэтому применение таких решений обоснованно, по крайней мере при использовании генеративных моделей головы человека.

Третью группу методов можно условно поделить на 3 подгруппы: 2D методы, 2.5D методы, стереометоды.

2D методы позволяют получать множество точек в двухмерном пространстве (2D реконструкция), которое впоследствии с помощью специальных алгоритмов может преобразовываться в множество точек в трехмерном пространстве (т.е. по имеющимся координатам точек можно получить искомую координату глубины точки на изображении), а координата Z (глубина) вычисляется на основании теоретической траектории движения точки, которая, как правило, является кассательной к поверхности лица в точке признака.

Они используются в случае, если видеокамера закреплена неподвижно относительно головы. В данном случае, траектория движения точки в динамической модели *совпадает с траекторией движения точки на видеопоследовательности*.

2.5D методы используются в случае, когда нельзя обеспечить неподвижность головы относительно камеры. Такие методы основываются на том, что часть точек на лице могут оставаться *неподвижными* (например, уши, кончик носа, линия роста волос) при возникновении мышечной активности. Зная координаты этих точек и расстояние между ними, можно по проекции этих точек на одном кадре *вычислить искажения масштаба и поворота* и восстановить исходное положение точек путем аффинных преобразования поворота и наклона. Хотя такие методы позволяют использовать только одну камеру, недостатком является *перекрытие поверхностью лица части признаков* при значительных искажениях масштаба и поворота.

Стереометоды (которые по сути являются модификацией 2.5D методов) ликвидируют этот недостаток, т.к. используется сразу несколько ракурсов камеры, на каждом из которых присутствует большая часть признаков. Обычно используется 3 ракурса (слева и справа под углом 45 градусов и спереди), но могут встречаться в профессиональных системах методы, использующие 8 и 16 ракурсов камер. В стереометодах, как и в 2.5D методах, на основании проекций трехмерного объекта (головы) устанавливается с помощью математических преобразований *истинное положение ключевого признака* динамической модели. Отличием является то, что наличие нескольких изображений одного признака позволяет не использовать в системе уравнений расстояния между признаками в статической модели, а также возможность *установить положение ключевого признака, даже при перекрытии его* на части ракурсов.

Также следует отметить, что перечисленные методы с применением специальных алгоритмов преобразования масштаба позволяют *получать числовые параметры движений одного человека и переносить их на динамическую модель головы другого*.

Исследование алгоритмов получения числовых параметров. При получении числовых параметров движений динамической модели крайне важно знать *количество ошибок распознавания*, а также *практическое быстродействие программных средств*. Эти факторы следует учитывать при выборе ключевых параметров динамической модели, т.к. вычислительные возможности используемых систем ограничены. Поэтому этап создания динамической модели следует проводить только после экспериментальной проверки алгоритмов компьютерного зрения, используемых для получения числовых параметров.

Для этих целей в ряде экспериментов анализировалось быстродействие и другие характеристики алгоритмов компьютерного зрения: SIFT (Scale-invariant feature transform), KLT (Kanade–Lucas–Tomasi feature tracker), SAD (Sum of absolute differences), NCC (Normalized cross correlation), SSD (Sum of squared differences), Color Histogram (Histogram matching), на примере программных средств, содержащих в себе реализации этих алгоритмов: Blender [21], ACTS 1.5 [22], Voodoo 1.5 [23], VideoTrace [24], VooCAT [25], Boujou [26], Matchmover 2012 [27], Mocha [28], SynthEyes [29], Fusion [30].

Важным параметром у этих средств является способ поиска признаков на изображении. Отличие заключается в возможности управлять процессом идентификации [20] и, следовательно, выбора ключевых признаков – в автоматических этот процесс происходил по заданному алгоритму (т.е. ключевые признаки находились алгоритмом автоматически), во вторых – с участием оператора, который мог ограничить множество точек и их начальное расположение. Если первый удобен при достаточно большом количестве точек, когда поиск точек с высоким уровнем ошибок выполнялся на основе других точек и они могли исключаться из дальнейших вычислений, то второй используется, когда на объекте достаточно мало ключевых признаков и они заранее известны, а расчет большего количества точек затруднителен из-за больших затрат машинного времени, что будет показано ниже.

Было проведено несколько экспериментов по определению характеристик алгоритмов компьютерного зрения:

– первый должен был выявить, каким образом выбирать ключевые признаки, чтобы время и количество ошибок захвата движений не превышало некоторого порога.

– второй должен был установить, какой из методов захвата дает большую скорость захвата и, следовательно, лучшие результаты.

В первом эксперименте использовалось 4 видеопримера, содержащих лицо человека с различными мимическими проявлениями, различной длительности и с различным количеством признаков.

Во время изучения ошибок идентификации был составлен подробный список наиболее распространенных ошибок захвата движения. Ошибки были разбиты на несколько групп: ошибки первичных данных и ошибки алгоритма.

Ошибки первичных данных:

– потеря или сдвиг признака из-за перехода оттенка признака в оттенок подложки;

– смазывание признаков при использовании алгоритмов сжатия с большим уровнем потерь или при резких движениях;

– потеря признака из-за размытия изображения при низких разрешениях изображения (менее 640х480р).

Ошибки алгоритма:

– идентификация соседнего признака при попадании его в область поиска;

– потеря признаков при аффинных преобразованиях типа «поворот по оси Z» и «поворот по оси Y».

Понятно, что ошибки первичных данных могут устраняться только при использовании алгоритмов сжатия видео без потерь. Ошибки алгоритма могут устраняться только подбором параметров (в т.ч. изменения области поиска).

Во втором эксперименте на примере видео, давшего наилучшие результаты, было решено сопоставить в одинаковых условиях различные алгоритмы компьютерного зрения на примере программных средств, содержащих эти алгоритмы.

Эксперимент проводился следующим образом:

– задавалось количество отслеживаемых точек на уровне 23 (как в тестовом видео);

– если алгоритм содержал только автоматическую идентификацию признаков, то задавалось минимально возможное количество признаков;

– в течение 30 с (длительность тестового видео) определялось количество полных кадров, которые успевала обработать программа;

– полученные значения заносились в таблицу, а в итоговую таблицу заносилось среднее значение по всем имеющимся в программе алгоритмам отслеживания движений.

Для всех алгоритмов, количество кадров нормировалось по количеству точек – 33, которое получалось на основе предположения о гиперболической зависимости времени обработки от количества точек. На основе полученных данных был построен график (рис. 4), отображающий зависимость количества обрабатываемых кадров за одну секунду от количества точек. Этот график смог показать, в частности, теоретическую способность алгоритмов работать в реальном времени (изолиния 30 кадров в секунду), а также сравнить их и выбрать среди них наилучший; такие результаты показали алгоритмы, содержащиеся в программных средствах SynthEyes и VooCAT.

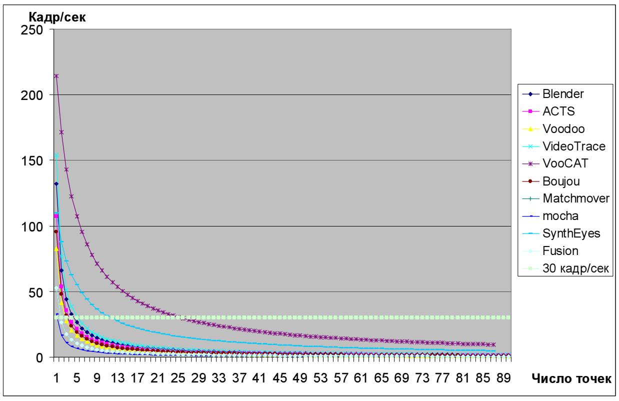


Рисунок 4 – Производительность средств компьютерного зрения при разном количестве отслеживаемых признаков

Апробация выбранных алгоритмов на тестовых видеозаписях. Для апробации алгоритмов идентификации была проведена серия экспериментов на тестовых видеофрагментах, с целью установить, какие условия необходимы для съемки.

Прежде всего, важно было установить:

– необходимое число камер и их конфигурацию в пространстве;

– какой из методов трехмерной реконструкции показывает лучшие результаты.

Оценка быстродействия и точности работы алгоритмов компьютерного зрения не проводилась, т.к. это было выполнено сразу в двух тестовых экспериментах.

Первая серия экспериментов была проведена с одной камерой, с лицевыми маркерами зеленого цвета, нанесенными смываемой краской, а также повторно, но с белыми бумажными маркерами круглой формы. Маркеры наносились в одинаковых местах в ключевых точках параметрической динамической модели, полученной в предыдущих экспериментах.

В результате экспериментов было установлено следующее:

– маркеры, которые при движении изменяют угол относительно плоскости кадра, создают ошибки отслеживания движений, т.к. сильно изменяется форма маркера;

– маркеры, нанесенные смываемой краской на лицо, сливаются с фоновым цветом лица из-за аппаратного сжатия изображения;

– при съемке с одного ракурса можно наблюдать непроизвольные повороты головы относительно центра камеры при возникновении мимики на лице. Это приводит к искажениям масштаба, что в свою очередь делает 2D реконструкцию невозможной.

В связи с возникшими факторами, негативно влияющими на эксперимент, были предложены несколько путей решения каждой из проблем:

– для уменьшения ошибок алгоритма, связанных с формой маркера, желательно использование маркеров круглой формы, которые при наклоне относительно плоскости кадра не изменяли бы формы, а также поверхность маркера должна давать рассеянный отраженный свет (матовая поверхность);

– для учета ошибок, связанных с поворотом головы относительно камеры, следует применять либо несколько камер, которые позволяют вычислить поворот головы с нескольких камер, либо закреплять камеру относительно головы на специальном шлеме.

Ввиду получения оптимальных параметров съемки, было решено провести эту серию съемок одновременно с экспериментами по захвату движений и трехмерной реконструкцией движения.

Третья серия экспериментов отличалась от остальных тем, что:

– было решено отказаться от искусственного освещения в пользу естественного рассеянного;

– были использованы сферические белые маркеры на клеющей подоснове вместо плоских;

– было использовано две камеры вместо трех, в т.ч. те, которые в предыдущих сериях экспериментов показали удовлетворительные результаты;

– использовалась калибровочная сетка из плоских маркеров, наклеенных на задний фон, и опорные точки, закрепленные на неподвижных областях головы, необходимые для следующих экспериментов.

Серия экспериментов содержала эксперименты с разными конфигурациями камер:

1) 1 камера по центру, 1 камера под углом 45 градусов к центральной камере;
2) 2 камеры под углом 45 градусов к плоскости объекта;
3) 1 камера по центру, 1 камера под углом 45 градусов к центральной камере в вертикальной плоскости.

Эксперименты позволили установить следующее:

– наилучшая видимость маркеров лица обеспечивается, если лицевые маркеры находятся в фоне лица, а ключевые маркеры, от которых ведется отсчет глобальной системы координата, не находятся на границе лица и фона;

– при съемке лица с боковых ракурсов (1х45 или 2х45) не обеспечивалось выполнение первого условия, поэтому камеры с такой конфигурацией не использовались.

– наилучший результат показала конфигурация камер: 1 камера по центру, 1 камера под углом 45 градусов к центральной камере в вертикальной плоскости.

Получение числовых параметров параметрической модели. На основании информационной модели эмоциональных проявлений было предложено провести эксперимент по получению числовых параметров мимических компонент:

– 88 мимических компонент, полученных в работе [8];

– 70 эмоциональных мимических выражений, полученных в работе [9].

Этот эксперимент позволил бы, проверить на практике полученные результаты теоретических исследований, в частности то, что:

– мимическое выражение выражается через сумму мимических компонент;

– компоненты мимических выражений неделимы и не выражаются через другие компоненты.

Также ожидается, что эксперимент позволит ответить на такие вопросы:

– каково влияние мимических компонент на другие компоненты (вызванные натяжением лица при сокращении мышц);

– каковы численные характеристики (длительность проявлений) отдельного компонента;

– какова последовательность возникновения отдельных компонент в мимическом выражении;

– как отличаются различные эмоциональные выражения между собой.

Для этого эксперимента был создан сценарий, который при записи эмоциональных мимических выражений использовал короткие предложения со словами, содержащими эмоциональный оттенок, соответствующий эмоциональному оттенку исследуемого выражения. Это позволило бы также проверить методику исследования словарей жестовых языков, показав наличие экспрессии у отдельных слов в разговорной речи и наличия большого диапазона мимических выражений в разговорной речи, а также одинаковой роли в эмоциональных выражениях как в жестовой, так и в разговорной речи. На основании полученного сценария были записаны тестовые видеозаписи.

Эксперименты по захвату движений трехмерной реконструкцией движения. Для проведения этих экспериментов использовалось программное обеспечение для 3D реконструкции Autodesk Matchmover [27], программное обеспечение для обработки перекодировки видео, а также программное обеспечение для обработки звуковых файлов.

Из видеозаписей, полученных с видеокамер, отделялась звуковая дорожка с и преобразовывалась в формат WAV (Wave). Полученная звуковая дорожка (точнее ее спектрограммы), анализировались для каждой пары видеозаписей, используемых в дальнейшем и отвечающих всем критериям, предъявляемым к качеству записей и условиям съемки, описанным выше. На каждой из спектрограмм выделялся пик амплитуды, начало какого-то звука, или другой характерный признак, который предварял момент появления информации на видео. Этот момент на каждой из звуковых дорожек определял точку синхронизации двух видеозаписей.

Полученные в результате значения точек синхронизации обрезались и преобразовывались MOV с алгоритмом компрессии видео – MJPEG. Этот формат обеспечивал

наибольшую скорость работы алгоритмов захвата движений, по сравнению с оригинальными форматами видео – MPEG4 или H.264 из-за более быстрой декомпрессии видео в формате MJPEG (разница примерно 10 раз).

Для проведения отслеживания движений маркеров на первом кадре каждой из видеопоследовательностей выбирались начальные координаты маркеров (как маркеров лица, так и маркеров на шапочке). Затем, для каждого из маркеров на всей видеопоследовательности выполнялось автоматическое отслеживание движений.

На основе результатов по отслеживанию движений были проведены эксперименты по реконструкции движений. Для проведения корректной реконструкции (такой, что фронтальная и профильная проекция «облака маркеров» повторяли бы, с соблюдением пропорций, положение этих маркеров) были выдвинуты ряд требований:

– на голове должно быть по меньшей мере 3 маркера, имеющих неизменное положение друг относительно друга (например, 1 маркер на кончике носа и 2 на шапочке) и созданы связи между этими маркерами;

– на заднем фоне должно быть максимально возможное количество статичных маркеров (т.е. не изменяющих своего положения относительно камер на всем протяжении съемки);

– число кадров, используемых для реконструкции должно быть одинаково для всех видеофрагментов, используемых для реконструкции;

– число кадров, содержащих результаты отслеживания с оценкой «ужасно», должно быть минимально и уменьшено с помощью инструментов интерполяции траектории.

Реконструкция проводится в два этапа. Вначале программа отбирает на всей последовательности кадров и для всех используемых видеозаписей набор ключевых кадров, для которых выполняет расчет положения каждой точки в пространстве, с учетом проекций этой точки на плоскость кадра каждой из камер, а полученные данные интерполирует затем на весь диапазон кадров. Если какая-то группа маркеров из «облака маркеров» изменяет свое положение и поворот относительно камеры, то их движения учитываются в расчете движений каждого из маркеров, принадлежащих «облаку маркеров».

После этого полученная черновая версия «облака маркеров», как правило, имеет взаимное расположение маркеров, отдаленно напоминающее расположение их в реальности. Для получения более точного расположения маркеров в пространстве используется этап калибровки камеры (для разных версий программы этот этап может выполняться до или после реконструкции положения точек).

Калибровка камеры заключается в уточнении взаимного расположения камер в пространстве по положению статичных маркеров в сцене, а также (что немаловажно), расчету искажений оптической системы камеры и ее параметров (даже если они заранее неизвестны). На этапе калибровки выбирается максимально возможное количество точек на неподвижном фоне, а затем вычисляются поправочные коэффициенты для полученной ранее черновой версии реконструкции движений.

На этом этапе получается визуально достаточно точное положение каждого из маркеров (включая статичные) в пространстве, которое может использоваться для дальнейших исследований или для проверки их в одном из программных пакетов компьютерной графики.

Проверка результатов 3d реконструкции для оценки достоверности полученных данных. Для оценки качества 3d реконструкции и оценки достоверности полученных данных было предложено проверить их на тестовой 3d модели, позволяющей управлять изменениями лицевых признаков (челюсть, губы, щеки, ноздри, веки и лоб).

Для этой цели был выбран программный пакет Autodesk Motionbuilder [31], в котором открывался файл, содержащий результаты 3d реконструкции, а полученные данные в виде облака точек переносились на полученную параметрическую модель лица и визуально оценивалось восприятие тех или иных мимических выражений, создаваемых этой моделью лица с использованием исходных данных.

Получение этих синтезированных мимических выражений выполнялось в следующей последовательности. Вначале в программу загружались исходные данные в формате трехмерных точек, неподвижных относительно системы координат, рассчитанной программой Autodesk Matchmover. Затем, среди всех точек находились несколько точек (в данном случае три), которые не изменяли взаимного расположения и принадлежали облаку точек, повторяющему контуры лица, из которых создавался объект «твердое тело» (rigid body). Полученный объект, а именно его центр, использовался для создания новой системы отсчета (относительно которой облако точек было бы неподвижно).

В сцену добавлялся объект «модель лица», для которой задавалась система отсчета, содержащая неподвижные точки, включая центр «твердого тела», которые позволяли вычислять смещение облака точек и их поворот.

Затем в соответствии с каждой управляющей точке упрощенной модели ставилась в соответствие аналогичная точка из облака точек, либо несколько точек, на основе которых рассчитывалось положение управляющей точки в каждый момент времени, которая управляла, в свою очередь, состоянием мимических проявлений на упрощенной модели лица.

Выводы

В результате исследований была создана параметрическая модель головы, включающая статическую и динамическую модели, признаки, а также получены числовые параметры, использовавшиеся для моделирования мимики на параметрической модели головы. Результаты моделирования показали, что с помощью полученной параметрической модели головы можно моделировать мимические выражения реального человека.

В дальнейшем, данные исследования будут расширены на набор мимических выражений, полученных в предыдущих исследованиях [9] и могут быть использованы для моделирования эмоциональных проявлений в жестовом языке на 3d аватаре жестового языка [32] и для задач идентификации мимических проявлений на известном наборе мимических выражений.

Литература

1. Зайцева Г.Л. Жестовая речь. Дактилология : [учеб. для студ. высш. учеб. заведений] / Зайцева Г.Л. – М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 192 с.
2. Ткачева Т. Жестовый язык глухих как особая знаковая коммуникативная система (на материале русского и французского жестовых языков) / Т. Ткачева, Н. Ахмедышева // Материалы Международной научно-практической конференции : «Приоритеты и интересы современного общества». – Астрахань : АГУ, 2010. – С. 361-365.
3. Кульбіда С.В. Українська жестова мова як природна знакова система / С.В. Кульбіда // «Жестова мова й сучасність» : зб. наукових праць. – К. : Педагогічна думка, 2009 . – С. 218-239.
4. Український жестівник для батьків / [С.В. Кульбіда, І.І. Чепчина, Н.Б. Адамюк, Н.В. Іванюшева] //НАПН України, Інститут спеціальної педагогіки, Лаб. жестової мови, Укр. т-во глухих. – К. : СПКТБ УТОГ, 2011. – 380 с.
5. Tennant R.A. The American Sign Language Handshape Dictionary // Tennant R.A., Marianne Gluszak Br. – Washington : Gallaudet University Press, 1998. – 407 p.
6. Companys M. Dictionnaire 1200 signes / Companys M., Tourmez F. – Angers, Éditions Monica Companys, 2000. – 150 p.

7. Interface Definitions, ViSiCAST Deliverable D5-1./ [Hanke T., Langer G., Metzger C. et al] – Hamburg, Insitute of German Sign Language and Communication of the Deaf, 2002. – 74 p.
8. Крак Ю.В. Системи опису мімічних проявів в жестовій мові. / Ю.В. Крак, А.С. Тернов, В.О. Кузнецов // Науково-теоретичний журнал «Штучний інтелект». – 2012. – № 4. – Донецьк : ІПШІ, 2012. – С. 172-182.
9. Крак Ю.В. Створення аудіовізуальної бази даних немануальних складових жестової мови / Ю.В. Крак, А.С. Тернов, В.О. Кузнецов, Ю.В. Барчукова // Матеріали XI Всеукраїнської міжнародної конференції : «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів». – Київ,2011 – С. 7-10.
10. Ratner P. 3-D Human Modeling and Animation, Second Edition / Peter Ratner. – New York : John Wiley & Sons Inc., 2003. – 336 p.
11. Miller F.P. Facial Action Coding System. / Miller F.P., Vandome A.F., McBrewster J. – Beau Bassin, International Book Marketing Service Ltd, 2011. – 80 p.
12. Синельников Р.Д. Атлас анатомии человека : [учебное пособие : в 4 т.]. –/ Р.Д. Синельников, Я.Р. Синельников, А.Я. Синельников. – 7-е изд., перераб. – М. : Новая волна, 2010. – Т. 1 : Учение о костях, соединении костей и мышцах. – 344 с.
13. Неттер Ф. Атлас анатомії людини / Ф. Неттер ; [наук. пер. з англ. к.м.н. Цегельского А.А]. – Львів : Наутілус, 2004. – 592 с.
14. Дж. Ли. Трехмерная графика и анимация / Ли Дж., Уер Б. – 2-е вид. – М. : Вільямс, 2002. – 640 с.
15. [Электронный ресурс] приложения 123D Catch. – Режим доступа : http://www.123dapp.com/catch
16. Rick Parent. Computer Animation. Algorithms and techniques / Parent Rick // The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, 2nd Edition. – San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2007. – 624 p.
17. [Электронный ресурс] приложения TopoGun. – Режим доступа : http://www.topogun.com
18. Panin G. Model-based Visual Tracking: the OpenTL Framework / Giorgio Panin – Peter Ratner. – New York : John Wiley & Sons Inc., 2011. – 318 p.
19. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Форсайт Д., Понс Ж. – М. : Вильямс, 2004. – 928 с.
20. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Шапиро Л., Стокман Дж. – М. : БИНОМ, 2006. – 752 с.
21. [Электронный ресурс] приложения Blender. – Режим доступа : http://www.blender.org
22. [Электронный ресурс] приложения ACTS. – Режим доступа : http://www.zjucvg.net/acts/acts.html
23. [Электронный ресурс] приложения VisCoda VooDoo. – Режим доступа : http://www.viscoda.com/index.php/en/products/non-commercial/voodoo-camera-tracker
24. [Электронный ресурс] приложения Punchcard VideoTrace. – Режим доступа : http://punchcard.com.au/
25. [Электронный ресурс] приложения VisCoda VooCat. – Режим доступа : http://www.viscoda.com/
26. [Электронный ресурс] приложения Vicon Boujou. – Режим доступа : http://www.vicon.com/boujou/
27. [Электронный ресурс] приложения Autodesk Matchmover. – Режим доступа : http://download.autodesk.com/us/maya/2014help-matchmover/index.html
28. [Электронный ресурс] приложения ImagineerSystems Mocha. – Режим доступа : http://www.imagineersystems.com/products/mochapro
29. [Электронный ресурс] приложения SSOntech SynthEyes. – Режим доступа : http://www.ssontech.com/synovu.htm
30. [Электронный ресурс] приложения Eyeon Fusion. – Режим доступа : http://www.eyeonline.com
31. [Электронный ресурс] приложения Autodesk Motionbuilder. – Режим доступа: http://www.autodesk.com/products/motionbuilder/overview
32. Крак Ю.В. Розробка основних інструментів комп'ютерної анімації для побудови системи синтезу жестової мови / Ю.В. Крак, М.П. Лісняк, А.С. Тернов // Матеріали міжнародної наукової конференції : «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту». 27 – 31 травня 2012. – Херсон : ХНТУ, 2012. – С. 104-105.
33. Parke F. Computer Facial Animation / Frederic I. Parke, Keith Waters. – A.K. Peters Ltd, Wellesley, 2008. – 446 p.

Literature

1. Zaytseva G.L. Sign language. Fingerspelling: Guide for students / Zaytseva G.L. – M. : Hum. publishing centre VLADOS, 2000. – 192 p. – (Correctional pedagogics).

2. Tkatcheva T. Sign language of deaf people as exceptional sign communicational system (based on materials on Russian and French sign language) // Tkatcheva T., Achmedysheva N. – Materials on International practical and research conference «Priorities and interests of modern society». – Astrakhan : AGU, 2010. – P. 361-365.
3. Kulbida S.V. Ukrainian sign language as a natural notation system / S.V. Kulbida // scientific journal «Sign language and modern»: К.: Pedagogicha dumka, 2009 . – ст. 218-239.
4. Ukrainian sign language dictionary for parents. // S.V. Kulbida, I.I. Chepchina, N.B. Adamiuk, N.V. Ivaniuscheva; NAPS of Ukraine, Institute of special teaching, Laboratoty of sign language, Ukrainian deaf society. – K. : SPCTB UTOG, 2011. – 380 p.
5. Tennant R.A. The American Sign Language Handshape Dictionary // Tennant R.A., Marianne Gluszak Br. – Washington, Gallaudet University Press, 1998. – 407 p.
6. Companys M. Dictionnaire 1200 signes // Companys M., Tourmez F. – Angers, Éditions Monica Companys, 2000. – 150 p.
7. Interface Definitions, ViSiCAST Deliverable D5-1./ [Hanke T., Langer G., Metzger C. et al]. – Hamburg, Insitute of German Sign Language and Communication of the Deaf, 2002. – 74 p.
8. Krak Ju.V. Notation systems for describing facial expressions in sign languages. / Ju.V. Krak, A.S. Ternov, V.A. Kuznyetsov // Scientific theoretical journal «Artificial intelligence». – 2012. – № 4. – Donetsk, publishing centre of Institute on problems of artificial intelligence of Ministry of Education and National academy of sciences of Ukraine, 2012. – p.172-182.
9. Krak Ju.V. Creation of audiovisual database of nonmanual components of sign language / Ju.V. Krak, A.S. Ternov, V.A. Kuznyetsov, Ju.V. Barchukova // Materials on XI Ukrainian international conference «Computation of signals and images and pattern recognition.». – Kyiv, publishing centre of journal «UkrObraz». – с. 7-10.
10. Ratner P. 3-D Human Modeling and Animation, Second Edition / Peter Ratner; John Wiley & Sons Inc., New York, 2003. – 336 p.
11. Miller F. P. Facial Action Coding System. / Miller F. P., Vandome A. F., McBrewster J. – Beau Bassin, International Book Marketing Service Ltd, 2011. – 80 p.
12. Tsynelnikov R.D. Atlas on human anatomy: educational reference: in 4 t. Tome 1 : Study on bones, bone joints and muscles / R. D. Tsynelnikov, Ja. R. Tsynelnikov, A. Ja. Tsynelnikov. 7th publication, revised. M. : Novaya volna; publisher Umerenkov, 2010. – 344 p.
13. Netter F. Atlas on human anatomy / F. Netter [scientific translation from English by ph.D Tsegelsky A.A]. – Lviv : Nautilus, 2004. – 592 p.
14. J. Lee Three dimensional graphics and animation / Lee J., Uer B. – 2nd publication. – M. : Williams, 2002. – 640 p.
15. Online resource on computer program 123D Catch. Hyperlynk: http://www.123dapp.com/catch
16. Rick Parent Computer Animation. Algorithms and techniques / Parent Rick. The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, 2nd Edition. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2007. – 624 p.
17. Online resource on computer program TopoGun. Hyperlynk: http://www.topogun.com
18. Panin G. Model-based Visual Tracking: the OpenTL Framework / Giorgio Panin. – Peter Ratner; John Wiley & Sons Inc., New York, 2011 – 318 p.
19. Forsight D. Computer vision. Modern approach. / Forsight D., Pons J. – M. : Williams, 2004. – 928 p.
20. Shapiro L. Компьютерное зрение / Shapiro L., Stokman J.// The best foreign guide. – M. : BINOM. Laboratoriya znanij, 2006. – 752 c.
21. Online resource on computer program Blender. Hyperlynk: http://www.blender.org
22. Online resource on computer program ACTS. Hyperlynk: http://www.zjucvg.net/acts/acts.html
23. Online resource on computer program VisCoda VooDoo. Hyperlynk: http://www.viscoda.com/index.php/en/products/non-commercial/voodoo-camera-tracker
24. Online resource on computer program Punchcard VideoTrace. Hyperlynk: http://punchcard.com.au/
25. Online resource on computer program VisCoda VooCat. Hyperlynk: http://www.viscoda.com/
26. Online resource on computer program Vicon Boujou. Hyperlynk: http://www.vicon.com/boujou/
27. Online resource on computer program Autodesk Matchmover. Hyperlynk: http://download.autodesk.com/us/maya/2014help-matchmover/index.html
28. Online resource on computer program ImagineerSystems Mocha. Hyperlynk: http://www.imagineersystems.com/products/mochapro
29. Online resource on computer program SSOntech SynthEyes. Hyperlynk: http://www.ssontech.com/synovu.htm
30. Online resource on computer program Eyeon Fusion. Hyperlynk: http://www.eyeonline.com

31. Online resource on computer program Autodesk Motionbuilder. Hyperlynk: http://www.autodesk.com/products/motionbuilder/overview
32. Krak Ju.V. Development of an engine of computer animation in purpose to create a syster for sign language synthesis. / Ju.V. Krak, M.P. Lisnyak, A.S. Ternov // Materials on international scientific conference : «Intelligent systems for decision making and problems of computational intelligence». – Kherson : KhNTU, 2012. – p. 104-105.
33. Parke F. Computer Facial Animation / Frederic I. Parke, Keith Waters. – A.K. Peters Ltd, Wellesley, 2008. – 446 p.

RESUME

Ju.V. Krak, V.A. Kuznetsov, A.S. Ternov

Facial Expressions Modeling Based on a Parametric Models of a Human Head

Described in the article are the steps of creation the parametric head model, what has been proposed for modeling such elements of sign language as emotional expressions. A facial structure was studied in purpose to describe an existing set of emotional expressions in sign language.

A static three dimensional model has been created based on a face of a real human. It was noticed a set of a characteristic points, based on data about a points of junction and each centre of each facial muscle of a real human; these points define a set of parameters. It also was set of elements of dynamic model of facial animation based on knowledge about muscle structure.

It was analyzed different algorithms of retrieving of numeric values (algorithms of computer vision) by employing a software containing examples of these algorithms; in particular, it was analyzed in test videos such properties of these algorithms as time of computation, an influence of changing of background and tracked feature color and shape. Based on this step, it was chosen an algorithm that matches the requirements of this research.

It was conducted a set of experiments in purpose to get a numeric values of a parametric model. These experiments included a check of orientation of video cameras, format types and approaches of video segmentation. It also was tested an algorithm of three dimensional reconstruction based on a data containing a trajectories of movement of feature points on a video sets containing different views of the face. Based on these experiments, it was made filming an emotional expressions given as a result a parameters of the parametric model; these parameters were used for facial expression modeling for sign language.

Given as a result, a parametric model was tested and also was found out:

– how can be a features found on the face;

– how many features is needed to get the model that can represent facial expressions correctly;

– what points of the face represent a maximum amplitude of muscle depression or relaxation;

– what type of restrictions have the algorithms of computer vision;

– how truly a parametric model describes a human face.

This research is to be extended on an existent set of facial expressions retrieved in earlier researches and can be applied in facial expression modeling for sign language on 3D sign language avatar and in purpose to identify a micro expressions on a known set of a facial expressions.

Статья поступила в редакцию 15.04.2013.